МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

MACHINE BUILDING AND MACHINE SCIENCE



УДК 631.31:681.2.083:631.421 10.23947/1992-5980-2017-17-3-60-69

Определение характеристик компонентов композитных материалов, предназначенных для производства деталей сельскохозяйственной техники*

И. Р. Антибас[1], А. Г. Дьяченко[2]**

[1, 2] Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Studies on characterization of composite materials components for part production in agricultural industry***

I. R. Antypas[1], A. G. Dyachenko[2]**

[1, 2] Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Введение. До настоящего времени использованию композитных материалов в производстве деталей сельскохозяйственной техники не уделялось должного внимания, т. к. было достаточно трудно предсказать их поведение при воздействии определенного рода нагрузок. Однако в связи с открытием и производством новых видов материалов научный и прикладной интерес к композитам растет. Цель исследования — изучение свойств компонентов композитных материалов для их использования при производстве деталей сельскохозяйственной техники. В частности, ставилась задача оказать содействие производителям в доступе к новым технологиям, продемонстрировать возможность локализации производства композитных материалов. Исследованные композиты могут применяться при выпуске труб и рабочих органов рыхлителей.

Материалы и методы. В работе рассмотрены компоненты, доступные на внутреннем рынке. В качестве материала выбрано стекловолокно, а в качестве связующего состава — полиэстер. Кроме того, для каждого вида материала были проведены исследования по определению значений модуля упругости и плотности при растяжении, изгибе и сдвиге, а также на устойчивость к растяжению при этих видах деформации.

Результаты исследования. Результаты экспериментов позволяют утверждать, что по физико-механическим свойствам стекловолокно является наилучшим из рассмотренных материалов (стекловолокно, карбон и слоистый карбон). Значение плотности материала, полученного экспериментально, составило 1183 кг/м^3. Экспериментальное значение модуля упругости при растяжении — E = 1585 МПа. Опыты по определению физико-механических характеристик связующего компонента показали, что на 85 % соответствует эталону полиэстер, и это наилучший результат.

Обсуждение и заключения. Рассматривались механические свойства композитного материала, изготовленного в виде пакета слоев стекловолокна и связующего вещества — демпфирующего полиэстера. При этом сравнивались значения практических и теоретических результатов. В итоге опыт на статическое растяжение материала дал экспериментальное

Introduction**.** Until now, the use of composite materials has not received due attention because of the fact that their behaviour under the effect of certain kinds of loads is difficult enough to predict. However, in connection with the discovery and production of new types of materials, they begin to play an increasing role because of their high mechanical and physical properties. The objective of the conducted investigations is to study properties of the composite materials components for their application in the part production of agricultural machinery. Particularly, the task is to assist manufacturers in getting access to new technologies, to demonstrate the possibility of localizing the composite materials production. The considered composites can be used for the production of pipes and ripper tools.

Materials and Methods. The components available at the domestic market are studied. Fiberglass is selected as a material, and polyester – as a binder. In addition, for each type of material, studies have been carried out to determine the modulus of elasticity and density in tension, bending and shear, and also the tensile strength under these types of deformation.

Research Results. The experimental results allow arguing that fiberglass is the best from the examined components (fiberglass, carbon, and layered carbon) according to its physical and mechanical properties. The binder material density value obtained experimentally is 1183 kg / m^3, and the experimental value of the tensile modulus E = 1585 MPa. The experiments on testing physical and mechanical characteristics of the binder component have shown that polyester corresponds to the standard by 85%, and this is the best result.

Discussion and Conclusions. The mechanical properties of a composite material made in the form of a stack of fiberglass layers and a binder, dampening polyester, were considered. In this case, the values of practical and theoretical results were compared. As a result, the testing on the material static tension has given the ex-

*Работа выполнена в рамках инициативной НИР.

**E-mail: imad.antypas@mail.ru, Dyachenko_aleshka@bk.ru

***The research is done within the frame of the independent R&D.

значение модуля упругости E_{cm} = 4836 МПа, модуль упругости на растяжение — E_c = 1530 МПа. Это отличается от значения, приведенного для стекловолокна методом нарезки и случайного смешивания (E_c = 3200 МПа).

perimental value of the elasticity modulus of E_{cm} = 4836 MPa, and the tensile modulus – E_c = 1530 MPa. This differs from the value given for fiberglass by the cutting and random mixing technique (E_c = 3200 MPa).

Ключевые слова: волокна, полиэстер, композитные материалы, механические характеристики композитных материалов.

Keywords: fibers, polyester, composite materials, mechanical properties of composite materials.

Образец для цитирования: Антибас, И.- Р. Определение характеристик компонентов композитных материалов, предназначенных для производства деталей сельскохозяйственной техники / И.-Р. Антибас, А. Г. Дьяченко // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2017. — Т.17, № 3. — С. 60–69.

For citation: I. R. Antypas, A. G. Dyachenko. Studies on characterization of composite materials components for part production in agricultural industry. Vestnik of DSTU, 2017, vol. 17, no.3, pp. 60–69.

Введение. В рамках данной работы были исследованы композитные материалы из полимерного волокна, широко применяемые в современном строительстве и промышленности. Они используются также для образования многослойных основ, состоящих из длинных или коротких волокон, образующих ткань. Количество слоев в данном случае напрямую зависит от требуемого уровня сопротивления нагрузкам. Часто такие волокна изготавливают из стекла, углерода, кевлара и других компонентов, доступных на внутреннем рынке. В качестве связующего элемента выступают эпоксид, полиэстер и винилэстер.

В [1] описаны исследования по определению влияния объемного соотношения стекловолокна на механические свойства полипропилена, укрепленного стекловолокном. Были получены следующие результаты.

1. Объемное соотношение стекловолокна увеличивалось пропорционально увеличению изгибных и растягивающих свойств композитных материалов.

2. При увеличении объемного соотношения стекловолокна на 15–20 % происходило увеличение предела прочности композитного материала при его растяжении и изгибе, но при дальнейшем увеличении прочностные свойства снижались. Данный результат интерпретировался следующим образом: в материале за счет концентрации напряжений на концах слабых волокон формировались локальные микроскопические трещины, что оказывало влияние на прочность сцепления стекловолокна.

В [2, 3] было определено, что с увеличением объемного соотношения стекловолокна на 30 % значения модулей упругости при сдвиге и растяжении материала повышаются. При изгибе это увеличение имеет особенно важное значение и под влиянием растягивающих усилий отклоняется от линейного. Также было установлено, что композитные материалы в условиях растяжения и изгиба ведут себя не так, как при испытаниях на прочность сдвига, и в зависимости от соотношения стекловолокна наблюдается квазилинейное поведение модуля упругости.

В [4] изучалась методика обработки поверхности волокна и его модификаций. Волокна очищали раствором антисептика и нагревали до температуры 72 ^{0}С в течение часа, затем промывали дистиллированной водой и сушили в сушильном шкафу до 70 С^0. Далее волокна помещали в смесь этанола и бензина при соотношении 1÷2, выдерживали в течение 72 часов, промывали дистиллированной водой и высушивали воздухом.

В [5] представлены возможности применения композитных материалов в строительстве и автомобильной промышленности. В частности, установлено, что при проектировании композитных материалов в автомобильной промышленности предпочтительно использовать тканевые слои, дополнительно усиленные рублеными волокнами.

В ходе экспериментов определялись характеристики трех материалов в условиях чрезвычайных происшествий в результате воздействия ударных нагрузок. Во всех трех случаях связующим веществом был полиуретан. В первом опыте использовалось стекловолокно, причем стеклянные волокна были нарезаны вручную и рассеянны случайным образом. Во втором — карбон, причем углеродные волокна представляли собой слои, пересекающиеся под углом 45^0 или 90^0. В третьем случае использовался слоистый карбон, углеродные волокна также пересекались под углом 45^0 и 90^0, при этом свойства углеродного волокна были почти однородны во всех направлениях. Определялись механические свойства материалов под воздействием растягивающих усилий.

Целью данного исследования является изучение свойств компонентов композитных материалов с учетом возможности их применения для изготовления деталей сельскохозяйственной техники. Кроме того, ставилась задача оказать содействие производителям в доступе к новым технологиям, продемонстрировать возможность локализации производства композитных материалов.

Материалы, использованные при исследованиях. В ходе экспериментов оценивались свойства материалов, доступных на внутреннем рынке. Исследованные композиты рассматривались с точки зрения пригодности для производства труб и рабочих органов рыхлителей.

Материал волокон — стекловолокно. Этот наиболее широко используемый материал представляет собой изоляционное стекло, состоящее из кремния, карбона кальция и натрия. Его получают в процессе нагрева и смешивания компонентов при температуре выше 1000 ^{0}C. Диаметр волокон — от 5 до 13 мкм. Стекловолокно имеет ряд преимуществ: высокая механическая прочность к разрушению, относительно высокий модуль упругости, устойчивость к коррозии, низкий удельный вес и низкая себестоимость. Для защиты от трения на обрабатываемую поверхность волокна наносятся в виде текстурированной пены. Кроме того, соединения волокон предотвращают адгезию волокнистого материала. В результате возникает сильное сцепление, которое придает прочность конструкции. Обычно используются материалы нескольких типов, которые могут быть сформированы в виде структурированной ткани (рис. 1, *а*), а также в виде нарезанных и рассеянных коротких волокон (рис. 1, *б*).



а) *b*)

Рис. 1. Стеклянные волокна в виде ткани (*а*); нарезанные и рассеянные стеклянные волокна (*б*)

Fig. 1. Fiberglass in the form of fabric (a); cut and scattered fiberglass (b)

Связующий материал — полиэстер. Волокнистые материалы обеспечивают продольную прочность при растяжении, изгибе и срезе связующего материала, а также оказывают сопротивление сдвигу, сжатию, поперечному растяжению. Таким образом, корректное сочетание компонентов композита принципиально важно для обеспечения необходимых механических свойств. Связующий материал должен улучшать механические свойства композитных материалов в поперечном направлении, повышать устойчивость к ударам и разрушению, а также предотвращать рост трещин композита в результате напряжений.

Химическая формула полиэстера:

$$\ldots O - CH_2 - CH_2 - OOC - CH = CH - COO - CH_2 - CH_2 - O\ldots$$

По этой формуле получается материал на основе смол органического и синтетического происхождения (композитная органическая матрица), обладающий высокой химической, электро- и термостойкостью (в течение длительного времени может выдерживать температуру до 260 ^{0}C). Другие преимущества: простота в изготовлении литых форм, хорошая растворимость в воде и отсутствие запаха.

Практические исследования. Рассматривались физико-механические свойства ключевых компонентов композитного материала (стекловолокна и полиэстера), а также различных композитных материалов. Полученные результаты сравнивались с данными, представленными в научной литературе.

Испытания, проведенные на связующем материале

А. *Определение типа связующего компонента при помощи спектрометра инфракрасного излучения* [6]

Длина волны спектра испытуемого вещества определялась с помощью устройства *ThermoNicolet*. Затем полученные результаты сравнивали с имеющимся в памяти устройства массивом графиков длин волн различных материалов. Определяли тип испытуемого вещества и его процентный состав. На основании этих сравнений было установлено, что для использования в композите оптимально подходит полиэстер — он соответствует эталонным требованиям на 85 %, и это лучший результат. Результаты спектрального анализа полиэстера представлены на рис. 2.

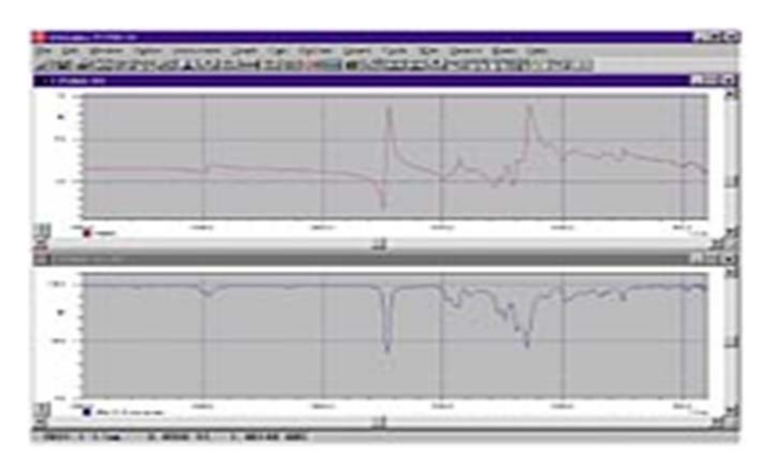


Рис. 2. Результаты спектрального анализа полиэстера

Fig. 2. Results of polyester spectral analysis

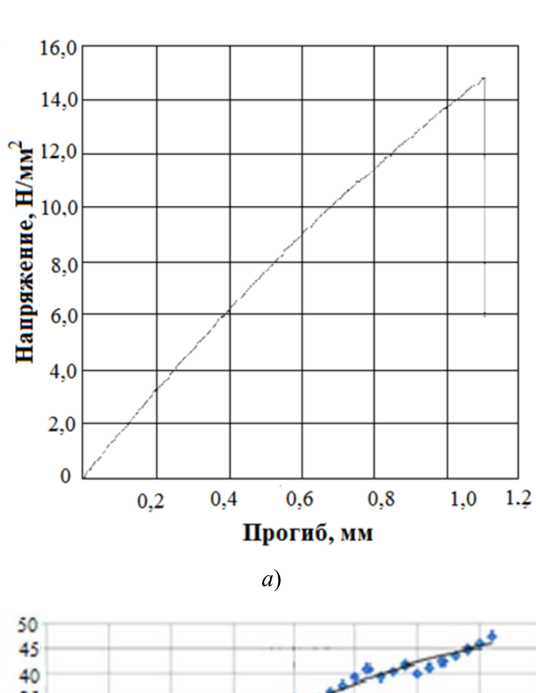
Б. *Определение удельного веса* (*плотности*)

Плотность связующего вещества определялась путем измерения блока связующего материала. С этой целью он погружался в стандартную емкость, заполненную водой. В результате было получено значение $\rho_m = 1183$ кг/м^3, которое отражает удельный вес связующего материала [7].

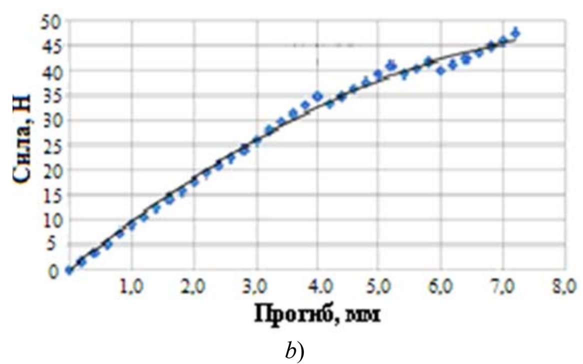
В. *Испытание на растяжение*

Рассматривались образцы с конкретными параметрами связующего материала (полиэстера), соответствующие международным стандартам для данного вида испытаний (ASTM: D638-95). Образцы закреплялись способом, не вызывающим деформаций и разрушения в области фиксации [8].

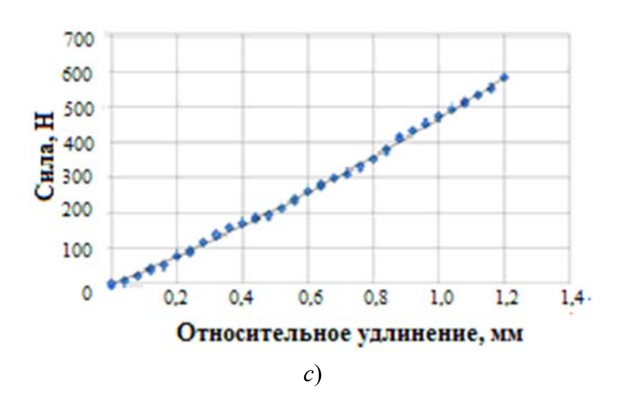
Результаты опыта представлены в виде кривой напряженно-деформированного состояния материала (рис. 3, *a*).



a)



b)



c)

Рис. 3. График поведения связующего материала: при растяжении (*a*); при изгибе (*b*) и при сдвиге (*c*)

Fig. 3. Graph of the binder behavior: under tension (a); under bending (b), and under shearing (c)

По данным графика, отражающего поведение материала, можно вычислить модуль упругости связующего компонента при растяжении. Среднее значение модуля упругости протестированных образцов составило E_{mt} = 1575 МПа.

Г. *Испытание на изгиб*

Опыты проводились на разрывной машине, что дало возможность сделать тест конструкции на изгиб в соответствии со стандартом *ASTM* 790-95a. Устройство состоит из четырех колодок с небольшим расстояние между ними. Пластина-образец опирается на скользкие ролики, и при изгибе могут быть проведены испытания на сдвиг между слоями материала в трех или четырех точках (рис. 4).

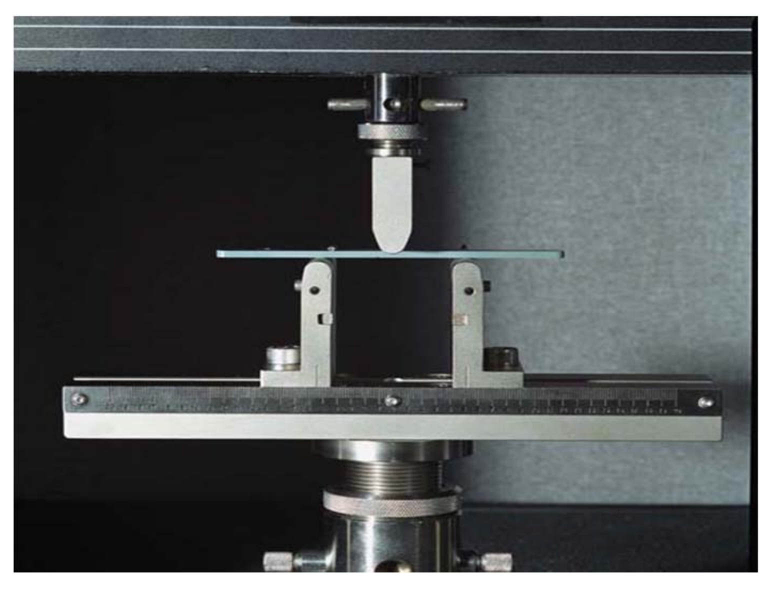


Рис. 4. Разрывная машина, в которой закреплен лист для проведения опытов на изгиб

Fig. 4. Tensile testing machine in which a sheet for bending experiments is fixed

В исследовании материала на изгиб использовались образцы со следующими параметрами: длина — 120 мм, ширина — 12,5 мм, толщина — 3,5 мм. Расстояние между зажимами составляло 64 мм, скорость изгиба — 2 мм/мин.

По итогам обработки результатов эксперимента получен график нагрузки (см. рис. 3, *б*), отражающий также соотношение между нагрузкой и изгибающим действием до фазы разрушения. Исходя из данных этого графика, можно вычислить напряжение и модуль упругости при изгибе: σ_b = 31 МПа и E_b = 1522 МПа.

Д. *Испытание на сдвиг*

Для проведения опытов полиэстер отливался в металлическую форму. Затем добавляли ускоритель, затвердитель и ждали, пока материал остынет [9].

После этого были выбраны условия испытаний в соответствии со стандартом *ASTM*: *D*732-93: диаметр образцов — 50 мм, диаметр испытательной головки — 11 мм, скорость сдвига — 1,25 мм/мин, температура воздуха — 23 ^{o}С.

По итогам тестирования на сдвиг группы образцов был получен график нагрузки, представленный на рис. 3, *в*. С учетом данных рис. 3, *в* определяется максимальное значение напряжений сдвига. Его получили путем деления ве-

личины силы сдвига на площадь давления, равную диаметру цилиндра испытательной головки (высотой выступала толщина образца). Искомая величина составила τ = 15 Н/мм². Значение модуля упругости при сдвиге данного связующего материала определяется по формуле

$$G = \frac{E}{2(1+\vartheta)} = 566 \text{ МПа},$$

где E — модуль упругости в продольном направлении, МПа; ϑ — коэффициент Пуассона.

Характеристики стекловолокна. Основной характеристикой стекловолокна является способность обеспечивать стабильность по напряжениям в продольном направлении, что особенно важно для производства оптического волокна. С этой точки зрения главной задачей представляется испытание волокон на растяжение и уточнение значений их плотности, а затем сравнение полученных результатов с теоретическими значениями.

Измерение плотности стекловолокна. Плотность волокна измеряли таким же образом, как и плотность связующего материала. В итоге получилось ρ_f = 2500 кг/м^3. Этими параметрами выражается также удельный вес волокон.

Измерение площади поперечного сечения. С помощью электронного микроскопа измеряли диаметр волокна и площадь поперечного сечения. Кроме того, вычислили среднее количество волокон в пучке. Для этого вес нескольких волокон сравнили с весом пучка и с учетом полученных данных определили площадь поперечного сечения всего пучка: A = 0,7 мм².

Растяжение стекловолокна. Этот опыт трудно выполнить из-за хрупкости отделившихся волокон на кончике верхнего фиксатора. Для их упрочнения и образования оправок по краю волокна выливали резиновый материал, чтобы ослабить силу давления фиксирующего устройства на волокна. Размеры растягивающихся образцов определялись в соответствии с международным стандартом для этих испытаний (*ASTM D* 2343-95):

— длина зажатого фиксатором волокна — 25 см,

— длина зажимов с обеих сторон — 5 см,

— скорость приложения нагрузки — 12,7 м/с,

— температура воздуха — 23 °С.

На рис. 5 показаны результаты испытаний, полученные при исследовании деформации волокон по напряжениям растяжения.

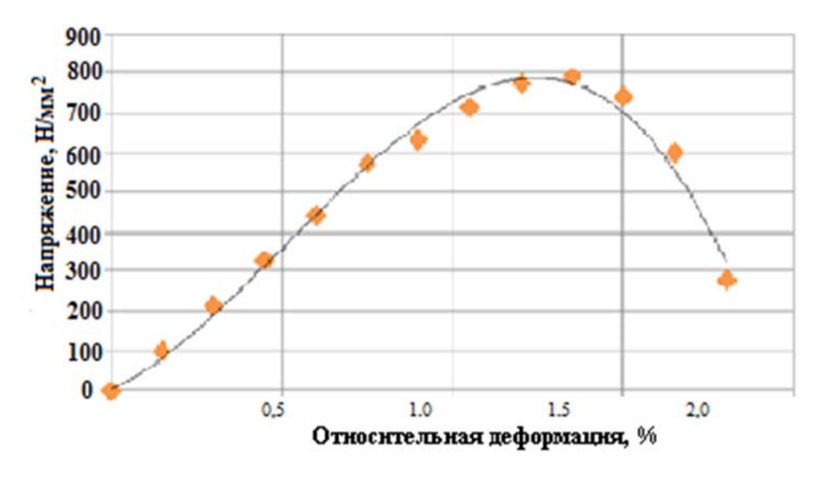


Рис. 5. Деформация волокон при растяжении

Fig. 5. Fiber deformation under tension

Полученный график отражает поведение волокон при их растяжении и позволяет определить общее среднее значение модуля упругости протестированных образцов, который равен E_{1f} = 70791 МПа.

Определение характеристик композитных материалов

Производство композитных материалов. В качестве связывающего вещества был использован резиновый полиэстер. Он смешивался со стекловолокном, порезанным и рассеянным случайным образом. Добавлялись 2 % за-

твердителя и 0,5 % катализатора. Поверхностная плотность — 300 г/см^2 соответствует механическим свойствам, изученным ранее.

При формировании трехслойного образца (M_3) использовался метод литья в пресс-форму — деревянную рамку 300 × 400 мм толщиной 3 мм. Чтобы предотвратить прилипание образца к столу и обеспечить легкое смещение, металлическую пластину и раму покрывали слоем воска. Объем трех слоев материала сопоставим с размерами пресс-формы. Слой связующего компонента, покрывающего материал, располагался выше первого слоя и придавливался гнетом для удаления пузырьков воздуха между волокнами композита и связующего вещества. Образцы затвердевали при комнатной температуре в течение по крайней мере 24 часов.

Испытания слоистого композитного материала

Испытание на растяжение. Для проведения опыта на растяжение слоистого композитного материала в соответствии со стандартом *ASTM*:*D* 3039/*D* были подготовлены 10 образцов со следующими средними размерами: толщина — 3,19 мм, ширина — 20,36 мм, длина — 260 мм. В результате испытаний был получен график растяжения (рис. 6, *а*).

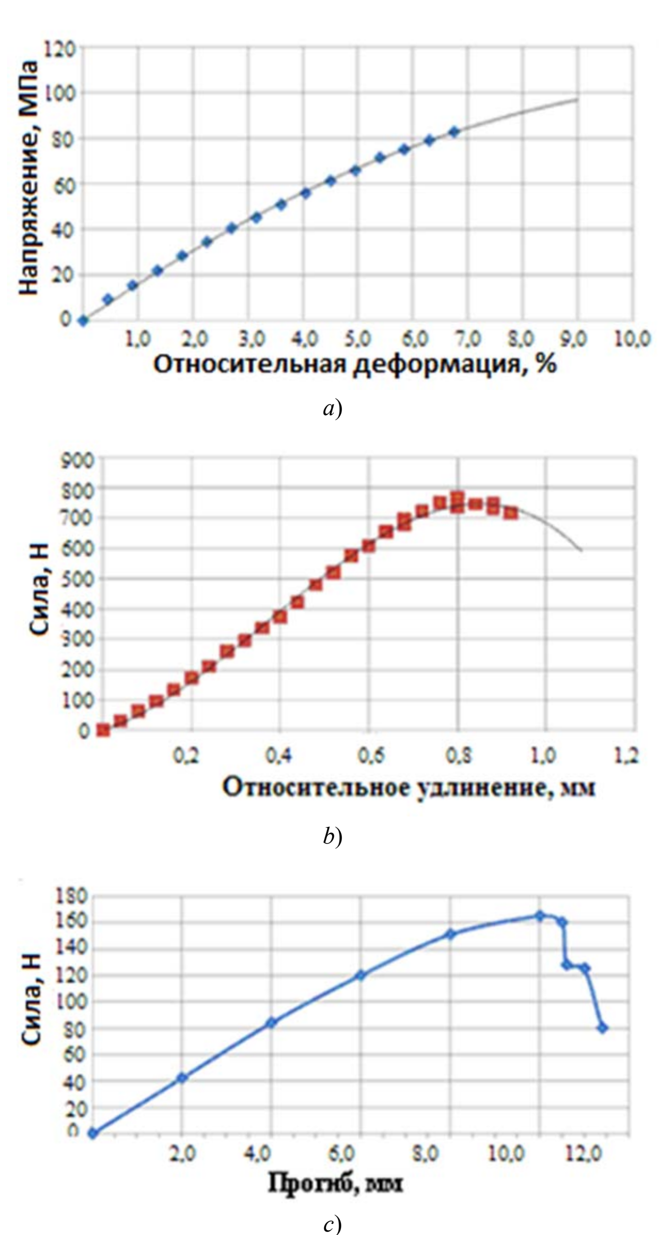


Рис. 6. Поведение слоистого композитного материала при растяжении (*a*); при сдвиге (*b*) и при изгибе (*c*)

Fig. 6. Layered composite material behavior under tension (a); under bending (b), and under shearing (c)

Учитывая данные графика растяжения слоистого композитного материала, находим значение опытного модуля упругости при растяжении: $E_c = 1530$ МПа. При расчете его теоретического значения учитываются объемное соотношение волокна, а также модули упругости связующего материала и стекловолокна. Данное значение определяется в соответствии с эмпирической зависимостью [10]:

$$E_{cm} = V_{fм}(16/45\, E_f + 2E_m) + 8/9\, E_m, \qquad (1)$$

где V_{fm} — объемное соотношение волокна; E_f — модуль упругости волокна; E_m — модуль упругости связующего материала.

Испытание на сдвиг. Испытание на сдвиг проводилось на изгибающем устройстве в соответствии со стандартной методикой, предусмотренной *ASTM D790-95a*. Исходя из данных графика (см. рис. 6, *б*), вычислялось значение разрушающего напряжения при сдвиге. Оно равно τ = 22 МПа. Значение модуля упругости при сдвиге определяется по формулам:

$$\vartheta_c = \vartheta_f x V_f + \vartheta_m x V_m = 0{,}376, \qquad (2)$$

$$G = \frac{E_c}{2(1+\vartheta_c)} = 556, \text{ МПа}, \qquad (3)$$

где ϑ_f — коэффициент Пуассона материала волокон; ϑ_m — коэффициент Пуассона связующего материала; V_f — объемное соотношение волокна; V_m — объемное соотношение связующего материала; ϑ_c — коэффициент Пуассона композитного материала.

Теоретическое значение модуля упругости, которое представлено в величинах объемного соотношения волокна и всего материала, вычисляется по формуле:

$$G_{cm} = V_{fm}(2/15\, E_f + E_m) + 1/3\, E_m. \qquad (4)$$

Полученное значение составило: $G_{cm} = 1813$ МПа.

Испытание на изгиб. Изгибное устройство использовалось в соответствии со следующими условиями:
— скорость изгиба — 2 мм/мин,
— температура воздуха — 23 ^{0}C,
— количество образцов — 5.

Средние размеры образцов: толщина — 2,5 мм, ширина — 10,35 мм, длина — 64 мм.

На рис. 6, *в* показан график испытания образцов слоистого композитного материала под нагрузкой до фазы разрушения. Данный график отражает значения напряжения и модуля упругости, которые были определены:

$$\sigma_b = 68{,}5 \text{ МПа},$$

$$E_b = 43010 \text{ МПа}.$$

Выводы. Тестирование по определению материала связующего компонента доказало, что для использования в композите оптимально подходит полиэстер — он соответствует требованиям на 85 %, и это лучший результат.

Значение плотности связующего материала, полученное экспериментально, — 1183 кг/м^3, что отличается от эталонного значения (1200 кг/м^3). Экспериментальное значение модуля упругости при растяжении ($E = 1585$ Мпа) также ниже теоретического значения (4000 Мпа). Значение модуля упругости стекловолокна, полученное в результате опытов, в значительной степени совпало с теоретическим и составило 70 ГПа. При этом оно оказалось близко к эталонному значению — 74 ГПа.

Что касается сравнения значений практических и теоретических данных о механических свойствах многослойного композитного материала с полиэстером в качестве связующего демпфера (M_3), следует обратить внимание на следующие результаты.

Опыт на статическое растяжение материала показал различие значений модуля упругости: экспериментальное — $E_c = 1530$ Мпа; теоретическое (для стекловолокна, полученного путем нарезки и случайного смешивания) — $E_c = 3200$ МПа.

Это объясняется следующими факторами:
— наличие пузырьков и пористости в слоистом материале,
— влияние режима сдвига во время отбора проб и обработки данных,
— появление микроскопических трещин в образце.

Что касается модуля упругости при сдвиге, то его значение также будет меняться, и это доказано экспериментально.

Итак, опыты с компонентами композитного материала (связующий материал и волокна) дали идентичные результаты, которые достаточно хорошо согласуются с эталонными значениями для этих переменных компонентов.

При исследовании композитного слоистого материала (M_3) было обнаружено, что переменные параметры производственного процесса, возможно, лишь незначительно повлияли на его механические свойства при растяжении, изгибе и сдвиге благодаря присутствию отдельных пузырьков воздуха и возникновению микроскопических трещин. Все это будет принято во внимание в будущих работах.

Библиографический список

1. Meraghnia, F. Implementation of a constitutive micromechanical model for damage analysis in glass mat reinforced composite structures / F. Meraghnia, F. Desrumauxb, M.-L. Benzeggaghb // Composites Science and Technology. — 2002. — № 62 — P. 2087–2097.

2. Lee, N.-J. The effect of fiber-content gradient on the mechanical properties of glass-fiber-mat/polypropylene composites / N.-J. Lee, J. Jang // Composites Science and Technology. — 2000. — № 60. — P. 209–217.

3. The influence of fiber treatment on the performance of coir-polyester composites / J. Rout [et al.] // Composites Science and Technology. — 2001. — № 61. — P. 1303–1310.

4. Smith, C.-S. Design of marine structures in composite materials / C.-S. Smith // London : Elsevier, 1990. — 389 p.

5. Corum, J.-M. Low-energy impact effects on candidate automotive structural composites / J.-M. Corum, R.-L. Battiste, M.-B. Ruggles-Wrenn // Composites Science and Technology. — 2003. —№ 63. — P. 755–769.

6. Антибас, И.-Р. Влияние формы гофрированного картона на амортизирующие свойства упаковки / И. Р. Антибас, С. А. Партко, А. Н. Сиротенко // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2016. — Т. 16, № 1 (84). — С. 36–42.

7. Kharmanda, G. System reliability-based design optimization using optimum safetyfactor with application to multifailure fatigue analysis / G. Kharmanda, I.-R. Antypas // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения : сб. статей 10-й Междунар. юбилейной науч.-практ. конф. в рамках 20-й Междунар. агропром. выставки «Интерагромаш-2017». — Ростов-на-Дону : Изд. центр ДГТУ, 2017. — С. 177–179.

8. Антибас, И.-Р. Изготовление теплоизоляционного материала и изучение его теплофизических и механических свойств / И.-Р. Антибас А. Г. Дьяченко // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения : сб. статей 10-й Междунар. юбилейной науч.-практ. конф. в рамках 20-й Междунар. агропром. выставки «Интерагромаш-2017». — Ростов-на-Дону, 2017. — С. 182–183.

9. Антибас, И.-Р. Влияние содержания древесного дисперсного наполнителя на долговечность композиционных материалов / И.-Р. Антибас А.-Г. Дьяченко // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2017. — Т. 17, № 1 (88). — С. 67–74.

10. Kharmanda, G. Integration of reliability and optimization concepts into composite yarns / G. Kharmanda, I. R. Antypas // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения : сб. статей 10-й Междунар. юбилейной науч.-практ. конф. в рамках 20-й Междунар. агропром. выставки «Интерагромаш-2017». — Ростов-на-Дону : Изд. центр ДГТУ, 2017. — С. 174–176.

References

1. Meraghnia, F., Desrumauxb, F., Benzeggaghb, M.-L. Implementation of a constitutive micromechanical model for damage analysis in glass mat reinforced composite structures. Composites Science and Technology, 2002, no. 62, pp. 2087–2097.

2. Lee, N.-J., Jang, J. The effect of fiber-content gradient on the mechanical properties of glass-fiber-mat/polypropylene composites. Composites Science and Technology, 2000, no. 60, pp. 209–217.

3. Rout, J., et al. The influence of fiber treatment on the performance of coir-polyester composites. Composites Science and Technology, 2001, no. 61, pp. 1303–1310.

4. Smith, C.-S. Design of marine structures in composite materials. London: Elsevier, 1990, 389 p.

5. Corum, J.-M., Battiste, R.-L., Ruggles-Wrenn, M.-B. Low-energy impact effects on candidate automotive structural composites. Composites Science and Technology, 2003, no. 63, pp. 755–769.

6. Antypas, I.-R., Partko, S.A., Sirotenko, A.N. Vliyanie formy gofrirovannogo kartona na amortiziruyushchie svoystva upakovki. [Effect of corrugated cardboard shape on the packing damping properties.] Vestnik of DSTU, 2016, vol. 16, no. 1 (84), pp. 36–42 (in Russian).

7. Kharmanda, G., Antypas, I.-R. System reliability-based design optimization using optimum safety factor with application to multifailure fatigue analysis. Sostoyanie i perspektivy razvitiya sel'skokhozyaystvennogo mashinostroeniya: sb. statey 10-y Mezhdunar. yubileynoy nauch.-prakt. konf. v ramkakh 20-y Mezhdunar. agroprom. vystavki «Interagromash-2017». [State and prospects of agricultural machinery development: Proc. 10th Int. Jubilee Sci.-Pract. Conf. within framework of the 20th Int. Agroindustrial Exhibition “Interagromash-2017”.] Rostov-on-Don: DSTU Publ. Centre, 2017, pp. 177–179.

8. Antypas, I.-R., Dyachenko, A.G. Izgotovlenie teploizolyatsionnogo materiala i izuchenie ego teplofizicheskikh i mekhanicheskikh svoystv. [Manufacturing of heat-insulating material and study of its thermophysical and mechanical properties.] Sostoyanie i perspektivy razvitiya sel'skokhozyaystvennogo mashinostroeniya: sb. statey 10-y Mezhdunar. yubileynoy

nauch.-prakt. konf. v ramkakh 20-y Mezhdunar. agroprom. vystavki «Interagromash-2017». [State and prospects of agricultural machinery development: Proc. 10th Int. Jubilee Sci.-Pract. Conf. within framework of the 20th Int. Agroindustrial Exhibition “Interagromash-2017”.] Rostov-on-Don: DSTU Publ. Centre, 2017, pp. 182–183 (in Russian).

9. Antypas, I.-R., Dyachenko, A.G. Vliyanie soderzhaniya drevesnogo dispersnogo napolnitelya na dolgovechnost' kompozitsionnykh materialov. [Effect of wood particulate filler content on durability of composite materials.] Vestnik of DSTU, 2017, vol. 17, no. 1 (88), pp. 67–74 (in Russian).

10. Kharmanda, G., Antypas, I.-R. Integration of reliability and optimization concepts into composite yarns. Sostoyanie i perspektivy razvitiya sel'skokhozyaystvennogo mashinostroeniya: sb. statey 10-y Mezhdunar. yubileynoy nauch.-prakt. konf. v ramkakh 20-y Mezhdunar. agroprom. vystavki «Interagromash-2017». [State and prospects of agricultural machinery development: Proc. 10th Int. Jubilee Sci.-Pract. Conf. within framework of the 20th Int. Agroindustrial Exhibition “Interagromash-2017”.] Rostov-on-Don: DSTU Publ. Centre, 2017, pp. 174–176.

Поступила в редакцию 12.03.2017
Сдана в редакцию 12.03.2017
Запланирована в номер 17.07.2017

Received 12.03.2017
Submitted 12.03.2017
Scheduled in the issue 17.07.2017

Об авторах:

Антибас Имад Ризакалла,
доцент кафедры «Основы конструирования машин» Донского государственного технического университета (РФ, 344000, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1),
кандидат технических наук, доцент,
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-8141-9529
imad.antypas@mail.ru

Дьяченко Алексей Геннадьевич,
доцент кафедры «Основы конструирования машин» Донского государственного технического университета (РФ, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1),
кандидат технических наук,
ORCID: http://orcid.org/0000-0001-9934-4193,
Dyachenko_aleshka@bk.ru

Authors:

Antypas, Imad R.,
associate professor of the Machine Design Principles Department, Don State Technical University
(RF, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin sq., 1),
Cand.Sci. (Eng.), associate professor,
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-8141-9529
imad.antypas@mail.ru

Dyachenko, Alexey G.,
associate professor of the Machine Design Principles Department, Don State Technical University
(RF, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin sq., 1),
Cand. Sci. (Eng.), associate professor,
ORCID: http://orcid.org/0000-0001-9934-4193 ,
Dyachenko_aleshka@bk.ru